

(Publication of unexamined patent application)

30021
L2
P8

**APPARATUS FOR CONTACTLESS MEASURING THE
DISTANCE A FROM AN OBJECT (10)**

- Including an optical device which focuses a measuring beam (11) consisting of a light beam, especially a laser beam, onto the measuring spot (12) of the object (10),
- including a detector (25) receiving the light (13) reflected from the measuring spot (12) for determining the deviation of the focusing point from the surface of the object (10).
- including especially a measuring lens (2) adapted to focus the reflected light (13) through a diaphragm (14) onto a light-sensitive sensor (15), as well as an evaluating unit (17) to which sensor signals are directed.

In order to achieve accurate measuring of the distance between an optical focusing system and a processing light source, the apparatus is made so as to provide that the measuring beam (11) is focused onto the work piece as the measuring object (10) with the help of the optical focusing system (18) of a processing laser, and that the measuring beam 911) extends coaxially with or axially parallel to the processing beam (19).

Description

the invention relates to an apparatus for the contactless measuring of the distance from an object, including an optical system adapted to focus a measuring beam consisting of a light beam,

especially a laser beam, onto the measuring spot of the object, including a detector which receives light reflected from the measuring spot and which is adapted to determine the deviation of the focusing point from the surface of the object, including, especially, a measuring lens for focusing the reflected light through a diaphragm onto a light-sensitive sensor, and including an evaluating unit which receives the sensor signals.

In the DE 31 34 077 C2 an apparatus is disclosed for the contactless measuring of the distance from an object wherein a lens is used as an optical device for focusing a laser beam onto an information containing CO plate. The light reflected from the measuring spot of the plate is being directed through the above mentioned lens and through a second lens which serves as a measuring lens and is then received by a detector which from the lateral displacement of the reflection point of the light reflecting thereon receives a signal which represents the degree of the focusing deviation of the focusing point from the surface of the object.

It is the object of the invention to improve an apparatus having the characteristics mentioned above so as to enable to determine in a most accurate manner the distance between an optical focusing unit and a processing light source and a work piece surface to be processed.

This object is being achieved in that the measuring beam is being focused, with the help of the optical focusing system of a processing laser, onto a work piece, as the measuring object, and in that the measuring beam is arranged coaxially with or axially parallel to the beam.

It is important that the measuring beam be focused onto the work piece by means of the optical focusing system. This will accomplish that the processing beam and the measuring beam are being focused through the same optical system. Therefore, the tuning of a separate optical system to the focusing of the measuring beam with respect to the focusing optic of the processing laser becomes unnecessary. It is also significant that the measuring beam be coaxial with an axially parallel to the processing beam. Therefore, measuring errors, because of axial angles, are not being encountered, and it is not necessary to take into consideration axial angles that exist between the measuring beam and the processing beam when evaluating the measuring results. Since the measuring beam and the processing beam extend coaxially, no special measures need to be taken with respect to the alignment of the measuring beam relative to the work piece. Furthermore, since the measuring beam and the processing beam extend coaxially, any inclination of the optical focusing system of the processing laser to the surface of the work piece is of no importance with regard to the measuring results. While measuring with a measuring beam that extends parallel to the processing beam requires to provide means for the alignment of the measuring beam relative to the work piece, the advantage is that the measuring can be done outside of the processing area of the processing beam, which is necessary when the reflection characteristics are insufficient, as for instance, due to the formation of a vapor capillarity on the processing spot, or when a distance must be determined before or after the execution of the processing, which can be done asynchronously to the processing beam.

It is advisable that the apparatus be designed so as to enable a pulsating operation of the processing laser, and that the measuring beam be present at least in the pulsating intermissions of

the processing beam. The use of the measuring beam during the pulsating intermissions ensures that the processing beam or its reflecting light does not interfere with the measuring procedure. If there is no reason to expect such an interference to occur, as for instance when the measuring beam is of a different wavelength, or because the measuring beam has other criteria which serve the distance measuring procedure without interference by the work processing beam, the measuring beam may also be used during the processing of the work piece.

Preferably, the configuration of the apparatus is such that the measuring beam enables in each impulse intermission of the processing beam at least one corresponding synchronized measuring impulse to occur, and/or that the light-sensitive sensor can be activated to perform measuring tasks during the impulse intermissions of the processing beam. The synchronisation between the processing beam and the measuring beam and/or their impulses accomplishes that the measuring step is executed as fast as possible, and that the time necessary for the measuring steps between the process beam impulses can be kept to a minimum. If the measuring beam is present continuously, that is, during the processing impulses of the processing beam as well as in the impulse intermissions, it is preferable that the light-sensitive sensor be activated in the impulse intermissions of the processing beam, so that the measuring steps occur only at that time. The activation of the sensor will also enable to determine the measuring time and/or the number of measuring procedures during the impulse intermissions of the processing beam.

The evaluation of the sensor signals of the detector for determining the distance from the object may be accomplished in a variety of ways. For example, the apparatus may be provided with a

diaphragm adjustment drive mechanism which is activated by the evaluating unit and which serves to adjust the diaphragm position for maximum sensor signal reception. In this case, the adjustment of the diaphragm is an indication of the division of the focus from the surface of the object and, therefore, an indication of the corresponding distance difference from which the distance, while giving consideration to the dimensioning of the measuring devices, can be determined.

As a rule, distance changes will occur in both directions vertically to the work piece. In this case it is necessary to know the direction of the distance variation in order to be able to calculate the distance, starting from the dimensioning of the measuring device, by addition or subtraction of the measured distance change. Therefore, in order to be able in this case to determine the distance to be measured and/or the direction of a distance variation, the device includes two sensors which are subjected to reflected light of the measuring beam by way of two diaphragms, one for each sensor, with the diaphragm for the one sensor being arranged ahead, and the diaphragm for the other sensor being arranged behind the focusing point of the measuring lens, and with the arrangement being such that the difference of the sensor signals is being used as the measure for the distance to be measured and/or the direction of the distance variation.

When the measuring beam has a circular cross section an increase of the sensitivity of the measuring device has been achieved. Due to the ring-shaped cross section of the measuring beam, the contrast portion is free of light. If at that time the ring-shaped area is being kept as small as possible, the measuring beam will pass completely through the diaphragm and impinge

upon the sensor, or it will be, through suitable beam enlargement in accordance with its small radial dimensioning, rapidly and completely masked out. A central light intensity, which would prevent a complete masking by the diaphragm, does not interfere with the measuring procedure. It is also possible to use a reflection light having an annular cross section directly for determining the distance in that its geometric characteristics are picked up, for instance, by so-called CCD-array. In this case, the use of a diaphragm is not necessary an arrangement of this type can also be used with a fully annular measuring beam, with the outside diameter being used for determining the distance. As a general rule, it is possible to gain information about the distance by means of intensity distribution measuring and/or measurements of the radial extensions of the beam spot.

In accordance with a further aspect of the invention, the apparatus is arranged such that the measuring beam (11) has divergence characteristics which are varying in the beam direction and which sense distances or distance variations of the work piece. Differences in the divergence characteristics indicates that there are corresponding differences in the focusing position in the directions of the measuring beam. Therefore, two or more different focusing points of the measuring beam result in two or more corresponding measuring results from which the distance of the object can be calculated. This will render unnecessary the operation of a mechanical movement of the diaphragm of the measuring device and will enable the employment of a simplified measuring device.

Preferably, the measuring device described above is of a type that provides that the measuring

beam has a focal point which is periodically oscillating in a vertical direction relative to the surface of the work piece, that a stationary diaphragm is arranged ahead of the sensor, and that for the purpose of determining the distance by the evaluating unit a time difference is being cited between a characteristic sensor value and the position of the focal point. The variations of the focal point will result, in accordance with the periodic oscillation, in oscillating signals of the sensors from which can be taken, for instance, the maximum value as the characteristic sensor value with respect to the position of the focal point, which will enable to determine the distance accordingly. A prerequisite with this measuring apparatus is that a device be provided for periodic focal point variations. This can be accomplished simply by means of periodically oscillating focusing elements, but also by means of fixed variable prefocusing beam paths to which the measuring beam is being directed by means of rotating elements, as for instance, by way of aperture diaphragms.

In the measuring beam is to have variable divergence characteristics without the use of any movable elements, the apparatus will be such that the measuring beam is in the form of a light beam with predetermined differing wave length portions and/or modulation frequency portions, and that the evaluating unit determines the distance signal from the signals picked up by the sensor while coordinating the same with the wave lengths or the modulation frequencies. The wavelength portions are generated, for instance, by several light sources and/or the use of filters in parallel traces of rays. Differing modulation frequency portions can be predetermined by electrical means, so that this arrangement will also enable to simplify the structure of the apparatus.

The apparatus need not be limited in its ability to operate only with one single measuring beam. Instead, it may be preferable that the apparatus be arranged such that additional measuring beams are provided which are aligned axially parallel to the existing measuring beam, with the reflected light of each additional measuring beam being used for a separate distance measuring procedure. The axially parallel arrangement of several measuring beams enables the surface of the work piece to be measured on several measuring points. The multiple distance measuring values will give information about the approximate shape of the surface to take appropriate steps for controlling the processing procedure, as for instance, the interruption of the processing procedure when a definite distance value cannot be found any more, as for instance, when the work piece has been cut through. The distance values that have been established may also be used for complicated procedures as, for instance, the control of the focusing optic alignment to the surface of the work piece. For instance, the focusing optic, and thus the processing beam, can be maintained at a certain angle and in a certain direction in an inclined position with respect to the work piece, or it may always be kept in a vertical position with respect to an arched surface of the work piece. For the generation of several axially parallel measuring beams it is preferable to use interferometric systems, such as beam splitters or diffraction grids which will ensure that all measuring beams have exactly the same measuring characteristics and, for example, the same divergence characteristics.

The invention will be described by way of exemplary embodiments illustrated in the drawing. Figure 1 is a side view of a schematic representation of a focusing apparatus and a measuring device operatively associated therewith.

Figures 2A to 2C are three detailed schematic views illustrating the method by which the distance value is being established with the use of a trailing diaphragm.

Figure 3A to 3C are three detailed schematic view of another exemplary embodiment of the measuring device with two sensors.

Figure 4 is a schematic view illustrating the time relationship between a processing beam and a measuring beam.

Figure 5 is a schematic view illustrating a measuring device with different divergency characteristics of its measuring beam.

Figure 6 is an illustration to be viewed in association with Figure 5 for describing a time relationship between a sensor signal and an oscillating divergence angle or focusing point.

Figure 7 is a schematic view of a measuring device with static elements for the distance measuring procedure with beams of difference divergency characteristics, and

Figure 8 illustrates the integration of a device for use as a depth measuring system into a processing control in association with the processing of a work piece for metal removal by laser beams.

In accordance with Figure 1, the object 10, namely a work piece, is subjected to a beam 19 of a laser (not shown in the drawing). The processing beam 19 is aligned vertically to the surface of the object 10 by means of a partial reflector 22 and is being focused by the focusing optic 18, namely a processing lens 1, in such a manner that it is, as is usual, concentrated to a point on the surface of the work piece to achieve a high degree of intensity. The alignment axis is arranged vertically.

The measuring device is comprised of an optical unit which is not illustrated in detail, as for instance a measuring laser (not illustrated) whose measuring beam 11 is directed by a partially light-transmitting mirror 24 vertically to the surface of the object 10 along the alignment axis 23. The measuring beam 11 is being focused by means of the processing lens 1 in a manner so as to form on the surface of the object 10 the desired small spot of measuring light. The object 10, that is, the work piece, reflects the light 13 originating from the measuring beam 11 through the processing lens 1, the reflector 22 and the mirror 24 onto a measuring lens 2 which focuses the reflected light 13 of the measuring beam 11 into an aperture 14' of a diaphragm 14. Behind the aperture 14' of a diaphragm 14 and the measuring lens 2 forms a detector 25. The sensor 15 of this detector 25 may be of a type that is suitable to meet the particular measuring requirements. For instance, the sensor 15 may be an individual photo diode if it is desirable to balance the sensor signal to a maximum. Alternatively, line or surface sensors may be used without the use of a diaphragm if it is desirable to obtain from a radial intensity distribution of the reflected light characteristic values for distances or distance variations.

In Figures 2A to 2C the principle is illustrated for establishing the distances or distance variations by determining the focal point variation from the surface of the object. As illustrated in Figure 2A, the object 10 is arranged in accordance with the focal length f_{l1} from the principal plane of the lens 1. Thus, the lens 1 focuses the measuring beam 11 generated, for instance, by an He Ne laser, correctly onto the object 10. The distance of the object 10 from the lens 1, that is, its principal plane, is exactly $A=f_{l1}$. Based on this premise, the light 13 reflected by the object 10 is being focused through the measuring lens 2 in such a manner that the focal point will

be located exactly in the aperture of the diaphragm 14. Therefore, the sensor has a maximum sensor signal since all of the reflected light 13 is impinging on the sensor 15. In accordance with the illustration in Figure 2B, the object 10 is located closer to the principal plane of the lens 1 than in Figure 2A. Therefore, the measuring spot 12 of the object 10 reflects light 13 divergently in such a manner that in comparison to Figure 2A, a wider beam of the reflected light 13 is generated. As a result, the measuring lens 2 will focus this light 13 closer to the sensor 15, with the difference amounting to ΔAB . This amount ΔAB is a measure for the distance difference by which the object 10 is closer to the plane of the lens 1. Consequently, the distance is $A = fL1 - \Delta A0 - tL2 - \Delta AB$. The measurement technical finding of the distance difference ΔAB proceeds by balancing the sensor signal of the sensor 15 to a maximum, with the diaphragm 14 being adjusted such that its position relative to the focal point of the light is the same as in Figure 2A.

The situation is similar in cases where the distance of the work piece 10 from the principal plane of the lens 1 is larger than the one in Figure 2A. Due to the larger distance of the object 10 from the principal plane of the lens 1 the reflection of the light 13 has a smaller divergence than that in Figure 2A, so that the measuring lens 2 will result in a focal point that is relatively close to it, which will cause the sensor signal of the sensor 15 to reach a maximum the diaphragm 14 is in the position shown in Figure 2C in which it deviates by the amount ΔAB from the O-position according to Figure 2A. The equation is:

$$A = fL1 + \Delta A0 - fL2 + \Delta AB.$$

An evaluating unit (not shown) may be employed for the mathematical evaluation which calculates, while taking into account the direction of the distance variation the diaphragm adjustment ΔAB of the diagram 14 that has occurred as the sensor signal of the sensor 15 is reaching its maximum, with the diaphragm adjustment being accomplished by a diaphragm adjustment mechanism (not shown). The diaphragm adjustment drive mechanism may be, for instance, a plunger-type drive that is known in the art and one which is able to adjust the low-mass diaphragm 14 fast enough so that sufficient impulse cycles are achievable during the measuring procedure, as for instance of a magnitude of 1 kHz.

Figure 3 shows an apparatus that does not require a mechanical diaphragm adjustment for determining the distance A and/or a distance variation. This measuring apparatus corresponds basically to that illustrated in Figure 2, the only difference being in the area of the detector 25. In addition to the work piece, that is, the object 10, Figure 3 shows a lens 1 for focusing a measuring beam 11 positioned at a distance $tL1$ from the work piece, as well as a partially light-transmitting mirror 24 which permits the reflected light 13 to reach the measuring lens 2 that is used to focus the light. The focused beam 13' is directed to two sensors 15, 15' in that a partially transmitting mirror 26, or some similar means, is being used as beam splitter. The sensors 15, 15' are operatively associated with diaphragms 14, 14', with the diaphragm 14 being disposed between the focal point $fL2$ and the sensor 15, and the diaphragm 14' being arranged between the focal point $fL2$ and the measuring lens 2.

Diaphragms 14, 14' are each positioned at a distance $\Delta 2$ from the focal points $fL2$. Since both

diaphragms have the same aperture width, and since one is disposed closer to the diaphragm 15 and the other farther away from the sensor 15', each dims the light differently. This will be described in detail by way of Figure 3B, 3C. As shown in Figure 3B, the object 10 is located by the amount of ΔaO farther away from the principal plane of the lens 1 than the focal length $fL1$. Therefore, the reflection of the light 13 is similar to that in Figure 2C and the divergence is smaller, as in Figure 3A. Therefore, the focusing is close to the lens 2 and the diaphragm 14 will dim more light from the sensor 15 than the diaphragm 14' which is positioned closer to the lens 2. Therefore $L1\ 15 < l1\ 15'$.

In the example illustrated in Figure 3C the situation is reversed. The object 10 is located by the distance difference ΔaO closer to the principle plane of the lens 1, so that the reflected light is being bundled by the lens 2 whose focal point is relatively far. Therefore, the diaphragm 14 is dimming more light than the diaphragm 14', as that the equation for the sensor signals 15, 15' is $U15 > U15'$. Due to the unchanged geometrical disposition of the components of the measuring apparatus, the sensor signals $U15, U15'$ establish the dimensions for the distance of the object 10, and the information of the differences between the sensor signals also enables to establish the direction of the distance changes ΔaO , that is, whether the object is located closer to or farther away from the principle plane of the lens 1 than a location that would correspond to the location of the focal point determined by $fL1$.

Figure 4 illustrates the procedure in terms of time of the laser pulse of a processing laser and the procedure in terms of time of a measuring laser. It can be seen that the processing laser generates

laser beam impulses 28 of the duration t_a , whereas 27 illustrates that the duration t_a can be determined randomly. Between the processing impulses 28 there are impulse intermissions 20. In Figure 4 it is shown under A that short laser impulses can be used as measuring impulses can be used as measuring impulses 21. Several measuring impulses can be used for several measuring procedures between two processing impulses or for several iterative measuring procedures for determining one single distance value. This requires a corresponding synchronization, that is, the measuring impulses 21 must be activated in response to a preceding processing impulse 28 and a trailing processing impulse 28'. A corresponding synchronization must occur when, instead of a short laser impulse 21 in accordance with Figure 4 under B, a long laser impulse of the measuring laser is being used. In Figure 4, the line 29 under the illustration C indicates that it is also possible to operate a measuring laser with continuous wave power, that is, to operate a pulsed measuring laser without synchronization with the processing laser. Therefore, in the case of interference possibilities by the reflected light of the processing laser, it is advisable that the sensor 15 or 15' be activated only in the impulse intermissions 20 of the processing beam 19 to eliminate that the measuring result be adversely affected.

Figure 5 shows that the measuring of a distance or a distance variation of the work piece can also be accomplished with a detector 25 which responds to the reflected light 13 of a measuring beam 11 which has varying divergence characteristics in the beam direction. For the purpose of comparison, Figure 1 will be referred to again as a reference. The components illustrated there as well as in Figure 5 are identified by the same reference numerals. The measuring beam 11 is being directed through the partially transmissible mirror 24 in the direction of the axis 23 onto

the work piece (not shown).

The measuring beam 11 has varying divergence angles. Divergence angle O indicates a beam parallel course of the measuring beam 11 up to the lens 1. This is illustrated by solid lines.

Consequently, the lens 1 will be focusing the measuring beam with the focal length $fL1$. If the divergence angle is positive, that is, if the beam 11 spreads out, the lens 1 will focus this measuring beam to a focal point $h2$, as indicated by the dotted lines, which is farther away from the principal plane of the lens 1 than $fL1$. Accordingly, if the divergence angle is negative, as indicated by the lines $-/+$, the lens 1 will focus the beam to a focal point $h1$ which is closer to the principal plane of the focusing lens 1 than the focal point $fL1$. Therefore, the reflection of the light 13 will change accordingly if the location of the object 10 remains unchanged.

Consequently, depending on the divergence angles, the sensor 15 will generate different sensor signals with suitable calibration of the measuring apparatus. These sensor signals will enable to determine the distance A of the object 10 because the change of the divergence angle is known. This will enable not only to measure the distance A but also to determine the distance variations and the directions thereof. This will remain true regardless of the source that causes the divergence of the measuring beam 11.

The diagram to the right on the bottom in Figure 5 illustrates that the divergence angle may oscillate at times. Therefore the oscillation amplitude B moves around $fL1$ between the threshold values $h1$, $h2$ that are assumed here which, according to the illustration $B(t)$, are reached at the indicated times $t0$, $t1$, $t2$. This oscillation of the focal point, that is, the divergence

angle, is illustrated in the enlarged diagram on top of Figure 6.

Underneath this diagram is a diagram illustrating the time dependency of the sensor signal of sensor 15 on the time t for the case that the work piece has the altitude h_1 as the distance from the principle plane of the focusing lens 1. In this case the sensor signal is at its maximum when the measuring beam 11 has the focusing position h_1 . With other focusing positions the sensor signal will diminish because the reflected light 13 will scatter farther radially so that the sensor 15 is not being illuminated in this case with the maximum amount of light. Therefore, the maximum 15s of the sensor signal is a characteristic value that can be used as a reference with respect to the focusing position according to Figure 6, uppermost diagram. Figure 6 shows the time difference Δt_1 between the maximum 15s of the sensor signal and a maximum $D_m(t)$.

The diagram on the bottom of Figure 6 shows the pattern of the sensor signal relative to the time t for the case that the object 10 has a distance h_2 from the principle plane of the focusing lens 1. The maximum 15s of the sensor signal is, with respect to the course the divergence angle takes, phase-shifted, which will also result in a larger time difference, namely Δt_2 . Therefore, this time difference is a measure for the distance A of the work piece from the principle plane of the focusing lens 1.

The beam divergence can, according to Figure 7, also be combined with other means, as for instance by light beams of varying colors of several lasers and/or by light of several lasers that is modulated by varying frequencies. Figure 7 shows for this purpose laser beam A with

divergence angle 0, laser beam B with divergence angle >0 and laser beam C with divergence angle <0 . The measuring beam 11 comprised of these beam portions is being focused by means of the mirror 24 through the focusing lens 1 parallel to the axis 23 in such a manner that the beam components A, B, C result in the focal points illustrated in the drawing. Accordingly, as described by way of Figure 5 with regard to the varying divergence angles, the beam components may reach the detector 255 identified in Figure 5 in accordance with the varying measuring beam components with varying focal points and divergences. The detector 25 will emit, in accordance with the portions with the varying divergence on the reflected light 13, varying sensor signals which can be used by the evaluating unit 17 for determining the distance A of the object (not shown in the drawing).

The integration of the procedure for distance measuring into a method for the removal of material by means of a laser beam, as shown in Figure 8 may be accomplished in that the measuring apparatus is in the form of a depth measuring system 29 which determines with the distance A the actual depth, which is then forwarded to a computer 30. The computer establishes or calculates, by using a preset reference depth 31 supplied by a machine control 33, a positioning value that is used to monitor a processing apparatus 32, as for instance a processing parameter of a laser. This will accomplish that more material is being removed from the work piece or object 10 by means of laser beam as desired, or that the removal is being interrupted when the actual depth A equals the preset depth 31.

The measuring apparatuses according to the invention enable to use auto focusing systems for

all types of laser processing and also to control the nozzle distance in the process of laser beam cutting and material removal. The applications are not limited to unidimensional projects, but it also enables to determine positions of surfaces in space, as for instance the surface of a work piece that has been processed or is to be processed.

Claims

1. Apparatus for contactless measuring the distance A from an object (10),
 - including an optical device for focusing a measuring beam (11) consisting of a light beam, especially a laser beam, onto the measuring spot (12) of the object (10),
 - including a detector (25) receiving the light (13) reflected from the measuring spot (12) for determining the deviation from the surface of the object (10),
 - including especially a measuring lens (2) adapted to focus the reflected light (13) through a diaphragm (14) onto a light-sensitive sensor (15), as well as an evaluating unit (17) for receiving the sensor signals

characterized in that the measuring beam (11) is being focused, with the help of the optical focusing system (18) of a processing laser, onto a work piece as the object (10) of measurement, and that the measuring beam (11) extends coaxially with or axially parallel to the processing beam (19).

2. Apparatus according to claim 1, characterized in that the processing laser operates as a pulsating laser, and that the measuring beam (11) is present at least in the pulsating intermissions (20) of the measuring beam (19).

3. Apparatus according to claim 2, characterized in that the measuring beam (11)

provides in each impulse intermission (20) of the processing beam (19) at least one corresponding synchronized measuring impulse (21), and/or that the light sensitive sensor (15) can be activated to perform measuring tasks in the impulse intermissions (20) of the measuring beam (19).

4. Apparatus according to one or more of the claims 1 to 3, characterized in that the apparatus includes a diaphragm adjustment drive mechanism which is activated by the evaluating unit (17) and which serves to adjust the diaphragm position for maximum sensor signal reception.

5. Apparatus according to one or more of claims 1 to 4, characterized in that the apparatus includes, for the purpose of determining the distance A to be measured and/or the direction of a distance variation, two sensors (15, 15') which are subjected to reflected light (13) of the measuring beam (11) by way of two diaphragms (14, 14') one for each sensor, with the diaphragm (14) for the sensor (15) being arranged ahead, and the diaphragm (14') for the other sensor (15') being arranged behind the focusing point (focal length $tL2$) of the measuring lens (16)*, and in that the difference of the sensor signals ($L1\ 15$; $L1\ 15'$) is being used as a measure for the distance (A) to be measured and/or the direction of the distance variation (Δa).

* Numeral (16) in German patent for identification of measuring lens seems to be incorrect.

6. Apparatus according to one or more of the claims 1 to 5, characterized in that

the measuring beam (11) has a circular cross section.

7. Apparatus according to one or more of claims 1 to 6, characterized in that the measuring beam (11) has divergence characteristics which are varying in the beam direction variations of the work piece (object 10).

8. Apparatus according to claim 7, characterized in that the measuring beam (11) has a focal point (t5) which is periodically oscillating in a vertical direction to the surface of the work piece, in that a stationary diaphragm (14) is arranged ahead of the sensor (15), and in that, for the purpose of determining the distance (A) by the evaluating unit (17), a time difference (Δt) is provided between a characteristic sensor value and the focal point position.

9. Apparatus according to claim 7, characterized in that the measuring beam (11) is a light beam with predetermined differing wave length portions and/or modulation frequency portions, and in that the evaluating unit (17) determines the distance signal from the signals picked up by the sensor (15) while coordinating the same with the wave lengths or the modulation frequencies.

10. Apparatus according to one or several of the claims 1 to 9, characterized in that additional measuring beams are arranged axially parallel to the measuring beam (11), whose reflected light is being used for respective separate distance measuring procedures.

Note: Numerals in Figure 3 do not agree with numerals in Figure 1.

For instance, in Figure 1 numeral 14' is called an aperture of lens 14 and in Figure 3, numerals 14' is a diaphragm.



Senft
11.8.90

P8

DE 40 25 577 A 1

71) Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

4) Vertreter:
Sturies, H., Dipl.-Phys. Dr.-Ing.; Eichler, P., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 5600 Wuppertal

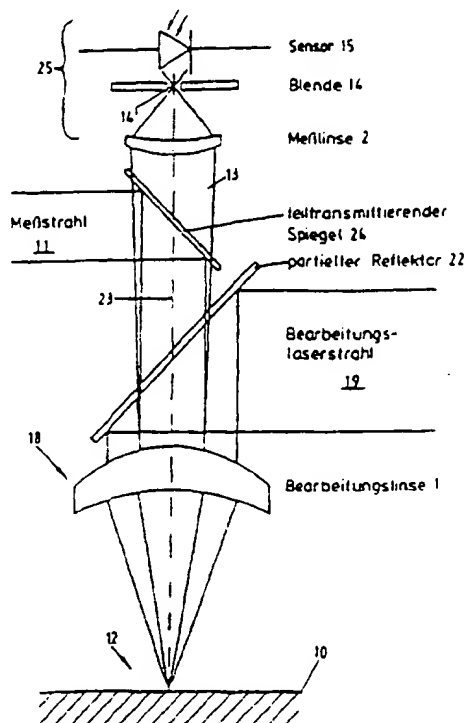
72) Erfinder:
Petring, Dierk, Dipl.-Phys., 5100 Aachen, DE; Rühl,
Falk, Dr.-Ing., 5106 Roetgen, DE; Treusch,
Hans-Georg, Dr.rer.nat., 5100 Aachen, DE;
Nöldechen, Wolfgang, Dipl.-Ing., 5102 Würselen,
DE; Abels, Peter, Dipl.-Ing., 5110 Alsdorf, DE;
Lässinger, Peter, Dipl.-Phys., 5100 Aachen, DE

301
D 12

üfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

4) Vorrichtung zum berührungslosen Messen des Abstands von einem Objekt

7) Vorrichtung zum berührungslosen Messen des Abstands
(A) von einem Objekt (10),
- mit einer optischen Einrichtung, die einen aus einem
Lichtstrahl bestehenden Meßstrahl (11), insbesondere einen
Laserstrahl, auf die Meßstelle (12) des Objekts (10) fokus-
siert,
- mit einem von der Meßstelle (12) reflektiertes Licht (13)
aufnehmenden Detektor (25) zum Ermitteln der Brennpunkt-
abweichung von der Oberfläche des Objekts (10),
- insbesondere mit einer das reflektierte Licht (13) durch eine
Blende (14) auf einen lichtempfindlichen Sensor (15) fokus-
sierenden Meßlinse (2) sowie einer Sensorsignale aufneh-
menden Auswertungsseinheit (17).
Um eine möglichst genaue Abstandsmessung zwischen
einer Fokussierungsoptik und einer Arbeitslichtquelle zu
bewirken, ist die Vorrichtung so ausgebildet, daß der
Meßstrahl (11) unter Einbeziehung der Fokussierungsoptik
(18) eines Arbeitslasers auf ein Werkstück als Meßobjekt
(10) fokussiert ist, und daß der Meßstrahl (11) dem Arbeits-
strahl (19) gleichachsig oder achsparallel angeordnet ist.



DE 4025577 A1

zur Gänze durch die Blende auf den Sensor, oder wird durch entsprechende Strahlaufweitung entsprechend seiner geringen radialen Dimensionierung schnell vollständig ausgeblendet. Eine zentrale Lichtintensität, die eine vollständige Ausblendung durch die Blende verhindern würde, stört beim Meßvorgang nicht. Es ist auch möglich, einen Kreisringquerschnitt aufweisendes Reflexionslicht direkt zur Abstandsbestimmung zu verwenden, indem seine geometrischen Eigenschaften beispielsweise mit einem sogenannten CCD-Array erfaßt werden. In diesem Fall kann eine Blende entfallen. Eine solche Anordnung kann auch bei einem vollkreisförmigen Meßstrahl verwendet werden, durch die der Außendurchmesser als Kriterium für die Abstandsbestimmung erfaßt werden muß. Allgemein gilt, daß durch Intensitätsverteilungsmessungen und/oder Messungen der Radialerstreckungen des Strahlflecks Informationen über den Abstand gewonnen werden können.

In Weiterbildung der Erfindung wird die Vorrichtung so ausgestaltet, daß der Meßstrahl in Strahlungsrichtung sich ändernde, Abstände oder Abstandsänderungen des Werkstücks erfassen lassende Divergenzeigenschaften hat. Unterschiedliche Divergenzeigenschaften bedeuten, daß die Fokusslage in den Richtungen des Meßstrahls dementsprechend unterschiedlich ist. Dementsprechend ergeben sich für zwei oder mehr unterschiedliche Brennpunkte des Meßstrahls entsprechende zwei oder mehr Meßergebnisse, aus denen der Abstand zum Objekt berechnet werden kann. Dabei ist es nicht mehr erforderlich, eine mechanische Bewegung einer Blende der Meßvorrichtung durchzuführen, so daß sich die Meßvorrichtung dementsprechend vereinfacht.

Die vorgenannte Meßvorrichtung ist zweckmäßigerweise so ausgebildet, daß der Meßstrahl einen vertikal zur Werkstückoberfläche periodisch schwingenden Brennpunkt hat, daß eine vor dem Sensor ortsfest angeordnete Blende vorhanden ist, und daß zur Bestimmung des Abstandes durch die Auswertungseinheit eine Zeitdifferenz zwischen einem Sensorkennwert und der Brennpunktlage vorgesehen ist. Die Brennpunktänderungen ergeben der periodischen Schwingung entsprechend schwingende Signale des Sensors, von denen beispielsweise der Maximalwert als Sensorkennwert in Bezug auf die Brennpunktlage genommen werden kann, um dementsprechend den Abstand zu bestimmen. Voraussetzung ist bei dieser Meßvorrichtung eine Einrichtung zur periodischen Brennpunktänderung. Das kann in einfacher Weise mit periodisch schwingenden Fokussierelementen erreicht werden, aber auch durch feststehende, unterschiedlich vorkonvergierende Strahlenbahnen, denen der Meßstrahl durch rotierende Elemente zugeführt wird, beispielsweise durch Lochblenden.

Wenn erreicht werden soll, daß der Meßstrahl ohne jegliche bewegliche Elemente unterschiedliche Divergenzeigenschaften aufweisen soll, wird die Vorrichtung so ausgebildet, daß der Meßstrahl ein Lichtstrahl mit vorbestimmt unterschiedlichen Wellenlängenanteilen und/oder Modulationsfrequenzanteilen ist, und daß die Auswertungseinheit aus den vom Sensor ermittelten Signalen unter deren Zuordnung zu den Wellenlängen oder den Modulationsfrequenzen das Abstandssignal ermittelt. Die Wellenlängenanteile werden beispielsweise durch mehrere Lichtquellen und/oder durch Einschaltung von Filter in parallele Strahlengänge erzeugt. Unterschiedliche Modulationsfrequenzanteile des Meßstrahls lassen sich auf elektrischem Wege vorbestimmen, so daß auch auf diesem Wege sich eine Vereinfachung des mechanischen Aufbaus der Meßvorrichtung

erreichen läßt.

Die Vorrichtung ist nicht darauf beschränkt, mit nur einem einzigen Meßstrahl arbeiten zu müssen. Vielmehr kann es vorteilhaft sein, wenn die Vorrichtung so ausgebildet ist, daß dem Meßstrahl weitere Meßstrahlen achsparallel angeordnet sind und deren reflektiertes Licht jeweils für eine separate Abstandsmessung verwendet ist. Infolge der achsparallelen Anordnung mehrerer Meßstrahlen wird die Oberfläche des Werkzeugs an mehreren Meßpunkten vermessen. Aus den mehreren Abstandsmeßwerten kann zum einen die Form der Oberfläche näherungsweise erfaßt werden, um dementsprechend Steuerungen des Bearbeitungsvorgangs vorzunehmen, beispielsweise eine Unterbrechung des Bearbeitungsvorganges, wenn sich kein definierter Abstandswert mehr ermitteln läßt, weil das Werkstück z. B. durchgeschnitten ist. Die ermittelten Abstandswerte können aber auch für kompliziertere Aufgaben eingesetzt werden, wie eine Steuerung der Ausrichtung der Fokussieroptik zu einer Werkstückoberfläche. Beispielsweise kann die Fokussieroptik und damit der Arbeitsstrahl in einem bestimmten Winkel und in einer bestimmten Richtung geneigt zum Werkstück gehalten werden oder auch beispielsweise stets senkrecht zu einer gewölbten Fläche des Werkstücks. Vorteilhafterweise werden zur Erzeugung mehrerer achsparalleler Meßstrahlen interferometrische Systeme eingesetzt, wie Strahlteiler oder Beugungsgitter, welche dafür sorgen, daß alle Meßstrahlen exakt dieselben Meßeigenschaften haben, also beispielsweise dieselben Divergenzeigenschaften.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Fokussiereinrichtung eines Lasers mit einer damit zusammenwirkenden Meßvorrichtung in Seitenansicht,

Fig. 2a bis 2c in drei schematischen Detailzeichnungen Darstellungen zur Erläuterung der Ermittlung eines Abstandswertes unter Verwendung einer nachführbaren Blende,

Fig. 3a bis c in drei Detaildarstellungen schematische Darstellungen eines weiteren Ausführungsbeispiels der Meßvorrichtung mit zwei Sensoren,

Fig. 4 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der zeitlichen Relationen zwischen einem Arbeitsstrahl und einem Meßstrahl,

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer Meßvorrichtung mit unterschiedlichen Divergenzeigenschaften seines Meßstrahls,

Fig. 6 eine im Zusammenhang mit Fig. 5 zu sehende Darstellung zur Erläuterung eines zeitlichen Zusammenhangs zwischen einem Sensorsignal und einem schwingenden Divergenzwinkel bzw. Brennpunkt,

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Meßvorrichtung mit statischen Elementen für die Abstandsmessung mit Strahlen unterschiedlicher Divergenzeigenschaften, und

Fig. 8 die Einbindung einer als Tiefenmeßsystem ausgebildeten Vorrichtung in eine Prozeßregelung bei der Bearbeitung eines Werkstücks durch Abtragen mit Laserstrahlung.

Gemäß Fig. 1 wird das Objekt 10, nämlich ein Werkstück, mit einem Arbeitsstrahl 19 eines nicht dargestellten Lasers bestrahlt. Der Arbeitsstrahl 19 wird durch einen partiellen Reflektor 22 vertikal zur Oberfläche des Objekts 10 ausgerichtet und durch die Fokussieroptik 18, nämlich eine Bearbeitungslinse 1 so fokussiert, daß sie an der Oberfläche des Werkstücks in üblicher

Weise punktförmig konzentriert ist, um eine hohe Intensität zu erreichen. Die Ausrichtungsachse 23 ist vertikal angeordnet.

Die Meßvorrichtung besteht aus einer nicht näher dargestellten optischen Einrichtung, beispielsweise einem nicht dargestellten Meßlaser, dessen Meßstrahl 11 mit einem teiltransmittierenden Spiegel 24 entsprechend der Ausrichtungsachse 23 vertikal auf die Oberfläche des Objekts 10 ausgerichtet ist. Der Meßstrahl 11 wird mit Hilfe der Bearbeitungslinse 1 ebenfalls so fokussiert, daß er auf der Oberfläche des Objekts 10 den gewünschten kleinen Meßlichtfleck bildet. Das Objekt 10 bzw. das Werkstück reflektiert vom Meßstrahl 11 herrührendes Licht 13 durch die Bearbeitungslinse 1, den Reflektor 22 und den Spiegel 24 hindurch auf eine Meßlinse 2, welche reflektiertes Licht 13 des Meßstrahls 11 in ein Loch 14' einer Blende 14 fokussiert. Hinter dem Loch 14' ist ein Sensor 15 angeordnet, der gemeinsam mit der Blende 14 und der Meßlinse 2 einen Detektor 25 bildet. Der Sensor 15 dieses Detektors 25 kann den Meßanforderungen entsprechend ausgebildet sein. Beispielsweise ist es möglich, den Sensor 15 als einzelne Fotodiode auszubilden, wenn es darauf ankommt, das Sensorsignal auf ein Maximum abzugleichen. Es ist aber auch möglich, Zeilen- oder Flächensensoren ohne die Verwendung einer Blende einzusetzen, wenn es darauf ankommt, aus einer radialen Intensitätsverteilung des reflektierten Lichts Kennwerte für Abstände oder Abstandsänderungen zu gewinnen.

In Fig. 2a bis 2c wird auf das Prinzip näher eingegangen, nach dem die Abstände oder Abstandsänderungen durch Ermitteln der Brennpunktswegabweichung von der Oberfläche des Objekts bestimmt werden. Gemäß der Darstellung der Fig. 2a ist das Objekt 10 entsprechend der Brennweite f_{L1} von der Hauptebene der Linse 1 angeordnet. Die Linse 1 fokussiert also den z. B. durch einen HeNe-Laser erzeugten Meßstrahl 11 korrekt auf das Objekt 10. Dessen Abstand von der Linse 1 bzw. deren Hauptebene ist exakt $A = f_{L1}$. Unter dieser Voraussetzung wird das vom Objekt 10 reflektierte Licht 13 durch die Meßlinse 2 so fokussiert, daß der Brennpunkt genau im Loch der Blende 14 liegt. Dementsprechend hat der Sensor ein maximales Sensorsignal, da sämtliches reflektierte Licht 13 auf den Sensor 15 fällt.

Gemäß der Darstellung in Fig. 2b ist das Objekt 10 näher an der Hauptebene der Linse 1 angeordnet, als in Fig. 2a. Die Meßstelle 12 des Objekts 10 reflektiert Licht 13 infolgedessen derart divergent, daß sich ein im Vergleich zur Fig. 2a aufweitender Strahl dieses reflektierten Lichts 13 ergibt. Die Meßlinse 2 fokussiert dieses Licht 13 infolgedessen näher an den Sensor 15, und zwar mit einem Unterschiedsbetrag Δa_B . Dieser Betrag Δa_B ist ein Maß für diejenige Abstandsdifferenz Δa_0 , um die das Objekt 10 der Hauptebene der Linse 1 näher ist. Dementsprechend ist der Abstand $A = f_{L1} - \Delta a_0 \sim f_{L2} - \Delta a_B$. Die meßtechnische Ermittlung des Differenzabstands Δa_B erfolgt durch Abgleich des Sensorsignals des Sensors 15 auf ein Maximum, wozu die Blende 14 so verstellt wird, daß sie relativ zum Brennpunkt des Lichts 13 dieselbe Lage hat, wie in Fig. 2a.

Ähnliches gilt für den Fall, daß das Werkstück 10 von der Hauptebene der Linse 1 einen größeren Abstand aufweist, als in der Darstellung der Fig. 2a. Infolge des größeren Abstandes des Objekts 10 von der Hauptebene der Linse 1 ergibt sich eine Reflexion des Lichts 13 mit gegenüber der Fig. 2a geringerer Divergenz, so daß die Meßlinse 2 eine Fokussierung mit vergleichsweise

dieser naheliegendem Brennpunkt vornimmt, wodurch das Sensorsignal des Sensors 15 ein Maximum aufweist, wenn die Blende 14 in der aus der Fig. 2c ersichtlichen Lage ist, in der sie um den Betrag Δa_B von der 0-Lage gemäß Fig. 2a abweicht. Es gilt:

$$A = f_{L1} + \Delta a_0 \sim f_{L2} + \Delta a_B.$$

Die rechnerische Auswertung kann in jedem Fall durch eine hier nicht dargestellte Auswertungseinheit erfolgen, die die durch einen nicht dargestellten Blendenverstellantrieb beim Abgleich des Sensorsignals des Sensors 15 auf ein Maximum erfolgte Blendenverstellung Δa_B der Blende 14 unter Beachtung der Richtung der Abstandsänderung berechnet. Der Blendenverstellantrieb ist beispielsweise ein an sich bekannter Tauchspulenantrieb, der eine massearme Blende 14 so schnell verstellen kann, daß ausreichende Taktraten beim Messen erreichbar sind, z. B. in der Größenordnung von 1 kHz.

Fig. 3 zeigt eine Vorrichtung, bei der zur Bestimmung des Abstands A und/oder einer Abstandsänderung eine mechanische Blendenverstellung nicht erforderlich ist. Diese Meßvorrichtung entspricht im wesentlichen derjenigen der Fig. 2 und ist lediglich im Bereich des Detektors 25 anders ausgebildet. Es sind also außer dem Werkstück bzw. Objekt 10 eine den Meßstrahl 11 fokussierende Linse 1 im Abstand von f_{L1} zum Werkstück vorhanden, wie ein teiltransmittierender Spiegel 24, der reflektiertes Licht 13 zu der Meßlinse 2 gelangen läßt, welche dieses Licht fokussiert. Der fokussierte Strahl 13' wird zwei Sensoren 15, 15' zugeführt, indem ein teiltransmittierender Spiegel 26 od. dgl. als Strahlteiler eingesetzt wird. Den Sensoren 15, 15' sind Blenden 14, 14' zugeordnet, wobei die Blende 14 zwischen dem Brennpunkt f_{L2} und dem Sensor 15 angeordnet ist, während die Blende 14' zwischen dem Brennpunkt f_{L2} und der Meßlinse 2 angeordnet ist. Die Blenden 14, 14' sind jeweils mit einem Abstand Δs angeordnet. Da beide Blenden 14, 14' dieselbe Lochweite haben, blenden sie infolge ihrer Anordnung näher am Sensor 15 bzw. weiter vom Sensor 15' entfernt entsprechend unterschiedlich ab. Das wird anhand der Darstellungen der Fig. 3b, c näher erläutert. Gemäß Fig. 3b ist das Objekt 10 um den Betrag Δa_0 weiter als die Brennweite f_{L1} von der Hauptebene der Linse 1 entfernt. Die Reflexion des Lichts 13 erfolgt also ähnlich der Darstellung in Fig. 2c mit geringerer Divergenz, als in Fig. 3a. Dementsprechend ergibt sich eine nahe an der Linse 2 gelegene Fokussierung, wodurch die Blende 14 mehr Licht vom Sensor 15 abblendet, als die näher an der Linse 2 gelegene Blende 14'. Infolgedessen gilt $U_{15} < U_{15'}$.

Im Fall der Fig. 3c ist es umgekehrt. Das Objekt 10 liegt um den Differenzabstand Δa_0 näher an der Hauptebene der Linse 1, so daß das reflektierte Licht 13 von der Meßlinse 2 mit vergleichsweise weit entfernt liegendem Brennpunkt gebündelt wird. Daher deckt nunmehr die Blende 14' mehr Licht ab, als die Blende 14, so daß für die Sensorsignale 15, 15' gilt: $U_{15} > U_{15'}$. Die Sensorsignale U_{15} , $U_{15'}$ bilden infolge der ungeänderten geometrischen Anordnung der Bauteile der Meßvorrichtung Maße für den Abstand des Objekts 10, wobei durch Differenzbildung der Sensorsignale auch die Richtung der Abstandsänderung Δa_0 bestimmt werden kann, also ob das Objekt näher oder weiter entfernt zur Hauptebene der Linse 1 liegt, als es der durch f_{L1} bestimmten Brennpunktlage entspricht.

In Fig. 4 ist der zeitliche Verlauf der Laserpulse eines Arbeitslasers und der zeitliche Verlauf der Laserpulse eines Meßlasers dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der

Arbeitslaser Laserstrahlpulse 28 mit der Zeitdauer ta erzeugt, wobei aus 27 ersichtlich ist, daß die Zeitdauer ta willkürlich bestimmbar ist. Zwischen den Arbeitsimpulsen 28 ergeben sich Impulspausen 20. In Fig. 4 ist unter A dargestellt, daß kurze Laserimpulse als Meßimpulse 21 verwendet werden können. Mehrere Meßimpulse können für mehrere Messungen zwischen zwei Arbeitsimpulsen eingesetzt werden oder für mehrere iterative Meßvorgänge zur Ermittlung eines einzigen Abstandswertes. Das setzt eine entsprechende Synchronisation voraus, also ein Einschalten der Meßimpulse 21 in Abhängigkeit von einem vorausgehenden Arbeitsimpuls 28 und einem nachfolgenden Arbeitsimpuls 28'. Eine entsprechende Synchronisation muß erfolgen, wenn statt eines Kurzlasersimpulses 21 gemäß der Darstellung der Fig. 4 unter B ein langer Laserpuls des Meßlasers verwendet wird. In Fig. 4 soll die Linie 29 unter der Darstellung C andeuten, daß es auch möglich ist, einen Meßlaser im Dauerstrich zu betreiben, bzw. einen gepulsten Meßlaser ohne Synchronisation zum Arbeitslaser. Dann ist es für den Fall der Störmöglichkeit des Meßergebnisses durch reflektiertes Licht des Arbeitslasers sinnvoll, wenn der Sensor 15 bzw. 15' nur in den Impulspausen 20 des Arbeitsstrahls 19 angesteuert wird, um unerwünschte Einflußnahme auf das Meßergebnis auszuschalten.

In Fig. 5 wird erläutert, daß eine Messung eines Abstands oder einer Abstandsänderung des Werkstücks auch mit einem Detektor 25 durchgeführt werden kann, der auf reflektiertes Licht 13 eines Meßstrahls 11 reagiert, welcher in Strahlungsrichtung sich ändernde Divergenzeigenschaften hat. Zum Vergleich kann wieder die Fig. 1 herangezogen werden. Die dort wie auch in Fig. 5 dargestellten Bauteile sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Der Meßstrahl 11 wird durch den teildurchlässigen Spiegel 24 in Richtung der Achse 23 auf das hier nicht dargestellte Werkstück gestrahlt.

Der Meßstrahl 11 besitzt unterschiedliche Divergenzwinkel. Divergenzwinkel 0 bedeutet strahlparallelen Verlauf des Meßstrahls 11 bis zur Linse 1. Das ist mit ausgezogenen Strichen dargestellt und demgemäß fokussiert die Linse 1 den Meßstrahl mit der Brennweite f_{L1} . Wenn der Divergenzwinkel positiv ist, der Meßstrahl 11 sich also in seinem Verlauf aufweitet, fokussiert die Linse 1 diesen Meßstrahl entsprechend der gestrichelten Darstellung in einen Brennpunkt h_2 , der von der Hauptebene der Linse 1 weiter entfernt ist, als f_{L1} . Entsprechend fokussiert die Linse 1 bei negativem Divergenzwinkel, für den der Strahlverlauf mit einer $-/+$ -Linie dargestellt ist, in einen Brennpunkt h_1 , der näher an der Hauptebene der Fokussierlinse 1 liegt, als es dem Brennpunkt f_{L1} entspricht. Dementsprechend ändert sich die Reflexion des Lichts 13 bei ungeänderter Anordnung des Objekts 10. Mit Hilfe des Sensors 15 werden also je nach Divergenzwinkel unterschiedliche Sensorsignale erzeugt. Aus diesen kann der Abstand A des Objekts 10 nach einer Eichung der Meßvorrichtung bestimmt werden, weil die Änderung des Divergenzwinkels bekannt ist. Dementsprechend kann nicht nur der Abstand A gemessen werden, sondern es können auch Abstandsänderungen und deren Richtungen festgestellt werden. Das gilt grundsätzlich, unabhängig davon, wodurch die Divergenz des Meßstrahls 11 erzeugt wird.

In Fig. 5 ist rechts unten noch dargestellt, daß der Divergenzwinkel schwingen kann. Die Schwingungsamplitude B bewegt sich also um f_{L1} zwischen den hier angenommenen Grenzwerten h_1 , h_2 , die gemäß der Darstellung B(t) zu den angegebenen Zeiten t_0 , t_1 , t_2 erreicht

werden. Diese Schwingung des Brennpunkts bzw. des Divergenzwinkels ist in Fig. 6 oben vergrößert dargestellt worden.

Darunter befindet sich eine Darstellung der zeitlichen Abhängigkeit des Sensorsignals des Sensors 15 von der Zeit t für den Fall, daß das Werkstück die Höhenlage h_1 als Abstand von der Hauptebene der Fokussierlinse 1 hat. In diesem Fall ist das Sensorsignal maximal, wenn der Meßstrahl 11 die Fokusslage h_1 hat. Bei anderen Fokuslagen verkleinert sich das Sensorsignal, weil das reflektierte Licht 13 radial weiter streut, so daß der Sensor 15 nicht mit der in diesem Fall größtmöglichen Lichtmenge beleuchtet wird. Das Maximum 15, des Sensorssignals ist also ein Kennwert, der auf die Brennpunktlage gemäß Fig. 6, oberste Darstellung, in Bezug genommen werden kann. Fig. 6 zeigt hierfür die Zeitdifferenz Δt_1 zwischen dem Maximum 15, des Sensorsignals und einem Maximum $D_m(t)$.

In Fig. 6 unten ist der Verlauf des Sensorsignals in Abhängigkeit von der Zeit t für den Fall dargestellt, daß das Objekt 10 einen Abstand h_2 von der Hauptebene der Fokussierlinse 1 hat. Das Maximum 15, des Sensorsignals ist in Bezug auf den Verlauf des Divergenzwinkels phasenverschoben, so daß sich auch eine größere Zeitdifferenz ergibt, nämlich Δt_2 . Diese Zeitdifferenz ist also ein Maß für den Abstand A des Werkstücks von der Hauptebene der Fokussierlinse 1.

Die Strahldivergenz kann gemäß Fig. 7 auch mit anderen Mitteln kombiniert werden, beispielsweise durch Lichtstrahlung unterschiedlicher Farbe mehrerer Laser und/oder durch mit unterschiedlichen Frequenzen moduliertem Licht mehrerer Laser. Fig. 7 zeigt zu diesem Zweck Laserstrahlung A mit Divergenzwinkel 0, Laserstrahlung B mit Divergenzwinkel >0 und Laserstrahlung C mit Divergenzwinkel <0 . Der aus diesen Strahlungsanteilen gebildete Meßstrahl 11 wird mit dem Spiegel 24 gemäß der Achse 23 durch die Fokussierlinse 1 so fokussiert, daß sich für die Strahlenanteile A, B, C die dargestellten Brennpunkte ergeben. Dementsprechend können, wie zu Fig. 5 bezüglich der unterschiedlichen Divergenzwinkel dargelegt wurde, die Strahlenanteile entsprechend den unterschiedlichen Meßstrahlanteilen mit unterschiedlichen Brennpunkten bzw. Divergenzen zu dem gemäß Fig. 5 ausgebildeten Detektor 25 gelangen. Dieser liefert entsprechend den Anteilen mit unterschiedlicher Divergenz am reflektierten Licht 13 unterschiedliche Sensorsignale, die von der Auswertungseinheit 17 zur Bestimmung des Abstands A des nicht dargestellten Objekts benutzt werden können.

Die in Fig. 8 dargestellte Einbindung einer Abstandsmessung in ein Verfahren zum Abtragen von Werkstoff mit einem Laserstrahl und erfolgt so, daß die Meßvorrichtung als Tiefenmeßsystem 29 mit dem Abstand A die Ist-Tiefe liefert, die dem Prozeßregler 30 zugeführt wird. Der Prozeßregler 30 bildet bzw. berechnet unter Verwendung einer von einer Maschinensteuerung 33 zur Verfügung gestellten Soll-Tiefe 31 eine Stellgröße, mit der eine Bearbeitungsanlage 32 beeinflußt wird, also beispielsweise ein Prozeßparameter eines Lasers. Dadurch wird erreicht, daß vom Werkstück bzw. Objekt 10 weiterhin Werkstoff im gewünschten Sinne mit Laserstrahlung abgetragen wird, oder daß die Abtragung unterbrochen wird, wenn die Ist-Tiefe A gleich der Soll-Tiefe 31 ist.

Mit den erfindungsgemäßen Meßvorrichtungen ist es möglich, Autofokussysteme für alle Laserbearbeitungsverfahren zu realisieren. Auch die Regelung des Düsenabstandes beim Laserstrahlschneiden und beim -abtra-

gen. Die Anwendungen sind nicht auf eindimensionale Aufgaben beschränkt, sondern es können auch die Lagen von Flächen im Raum erfaßt werden, wie die zu bearbeitende und die bearbeitete Werkstückoberfläche.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum berührungslosen Messen des Abstands (A) von einem Objekt (10),
 - mit einer optischen Einrichtung, die einen aus einem Lichtstrahl bestehenden Meßstrahl (11), insbesondere einen Laserstrahl, auf die Meßstelle (12) des Objekts (10) fokussiert,
 - mit einem von der Meßstelle (12) reflektiertes Licht (13) aufnehmenden Detektor (25) zum Ermitteln der Brennpunktswertabweichung von der Oberfläche des Objekts (10),
 - insbesondere mit einer das reflektierte Licht (13) durch eine Blende (14) auf einen lichtempfindlichen Sensor (15) fokussierenden Meßlinse (2) sowie einer Sensorsignale aufnehmenden Auswertungseinheit (17),
 dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl (11) unter Einbeziehung der Fokussierungsoptik (18) eines Arbeitslasers auf ein Werkstück als Meßobjekt (10) fokussiert ist, und daß der Meßstrahl (11) dem Arbeitsstrahl (19) gleichachsig oder achsparallel angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Arbeitslaser gepulst betrieben wird, und daß der Meßstrahl (11) zumindest in den Impulspausen (20) des Arbeitsstrahls (19) vorhanden ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl (11) je Impulspause (20) des Arbeitsstrahls (19) mindestens einen entsprechend synchronisierten Meßimpuls (21) aufweist und/oder daß der lichtempfindliche Sensor (15) in den Impulspausen (20) des Arbeitsstrahls (19) zum Messen ansteuerbar ist.
4. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen von der Auswertungseinheit (17) beaufschlagbaren Blendenverstellantrieb zum Abgleich der Blendenposition auf maximales Sensorsignal aufweist.
5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie zur Bestimmung des zu messenden Abstands (A) und/oder der Richtung einer Abstandsänderung zwei mit reflektiertem Licht (13) des Meßstrahls (11) durch je eine Blende (14, 14') beaufschlagte Sensoren (15, 15') aufweist, wobei die Blende (14) des einen Sensors (15) vor und die Blende (14') des anderen Sensors (15') hinter dem Brennpunkt (Brennweite f_{L2}) der Meßlinse (16) angeordnet ist, und daß die Differenz der Sensorsignale (U_{15} ; $U_{15'}$) als Maß für den zu messenden Abstand (A) und/oder die Richtung der Abstandsänderung (Δa) verwendet ist.
6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl (11) einen kreisringförmigen Querschnitt aufweist.
7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl (11) in Strahlungsrichtung sich ändernde, Abstände oder Abstandsänderungen des Werk-

stücks (Objekt 10) erfassen lassende Divergenzeigenschaften hat.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl (11) einen vertikal zur Werkstückoberfläche periodisch schwingenden Brennpunkt (f_z) hat, daß eine vor dem Sensor (15) ortsfest angeordnete Blende (14) vorhanden ist, und daß zur Bestimmung des Abstandes (A) durch die Auswertungseinheit (17) eine Zeitdifferenz (Δt) zwischen einem Sensorkennwert und der Brennpunktlage vorgesehen ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl (11) ein Lichtstrahl mit vorbestimmt unterschiedlichen Wellenlängenanteilen und/oder Modulationsfrequenzanteilen ist, und daß die Auswertungseinheit (17) aus den vom Sensor (15) ermittelten Signalen unter deren Zuordnung zu den Wellenlängen oder den Modulationsfrequenzen das Abstandssignal ermittelt.

10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß dem Meßstrahl (11) weitere Meßstrahlen achsparallel angeordnet sind und deren reflektiertes Licht jeweils für eine separate Abstandsmessung verwendet ist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

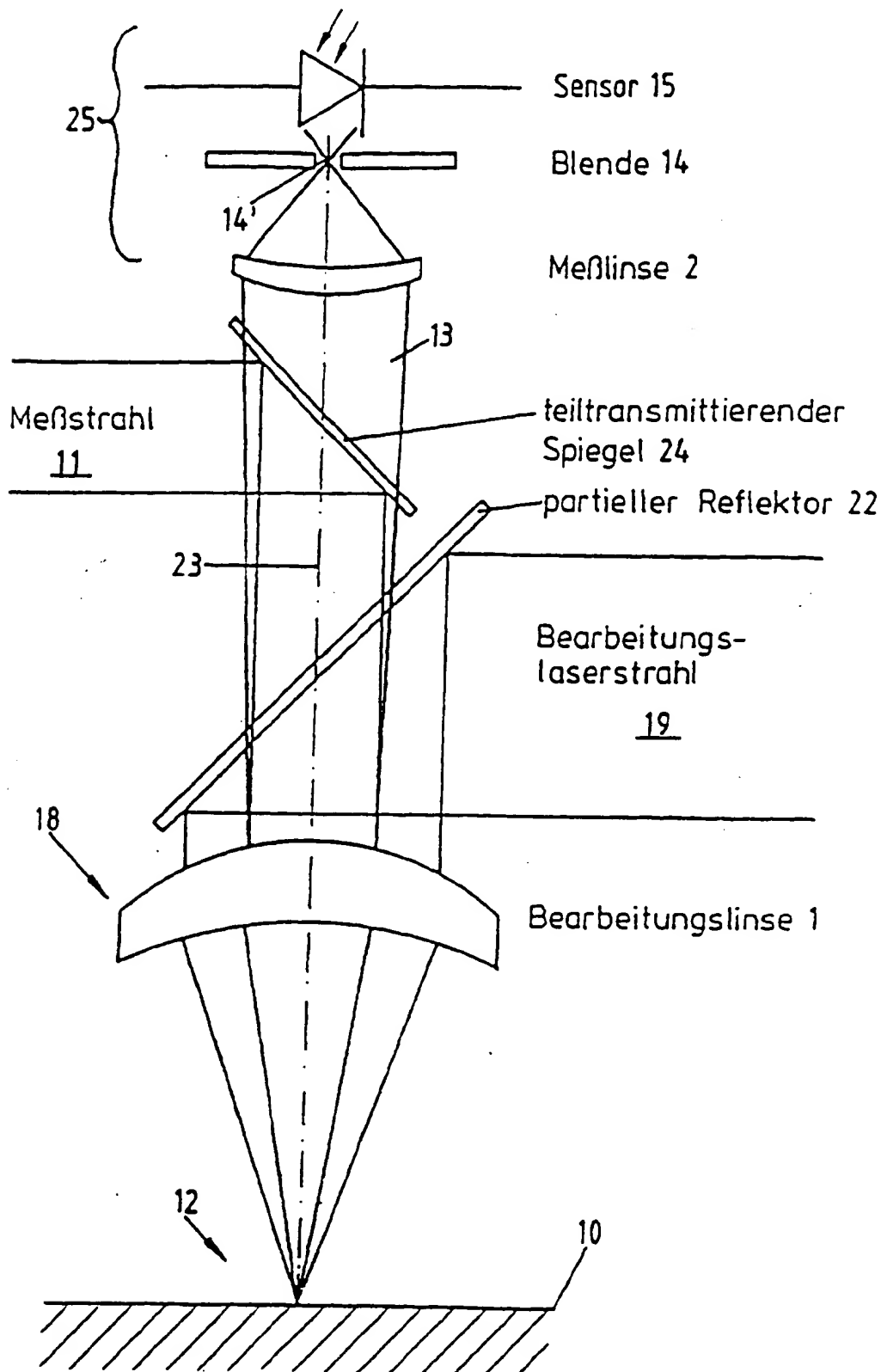


FIG. 2a

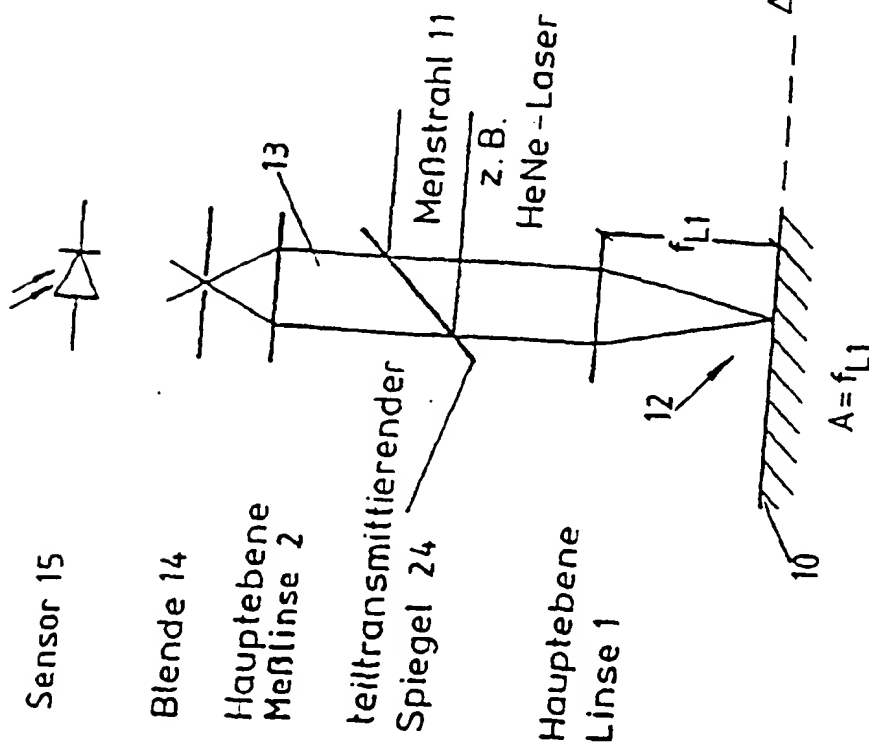


FIG. 2b

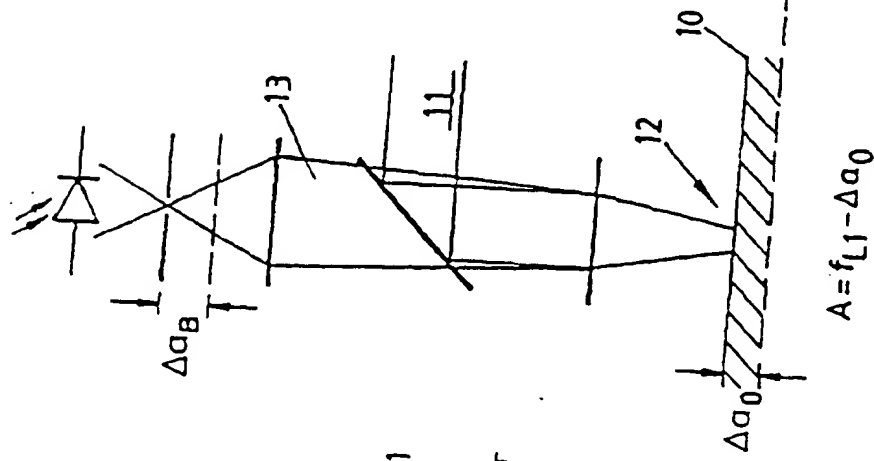
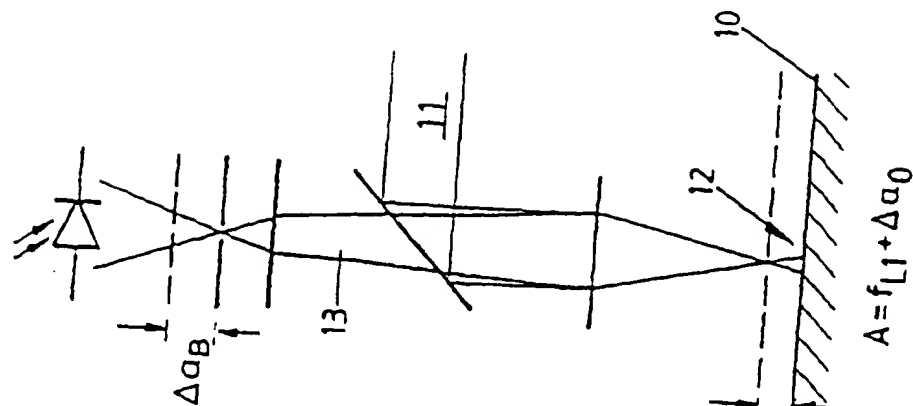


FIG. 2c



Messung des relativen Abstandes zur Meßfläche mit zwei Detektoren

Oberfläche Hauptebene Hauptebene
Linse 1 Linse 1 Linse 2
teilstransmittierender teilstransmittierender
Spiegel Spiegel

FIG. 3a

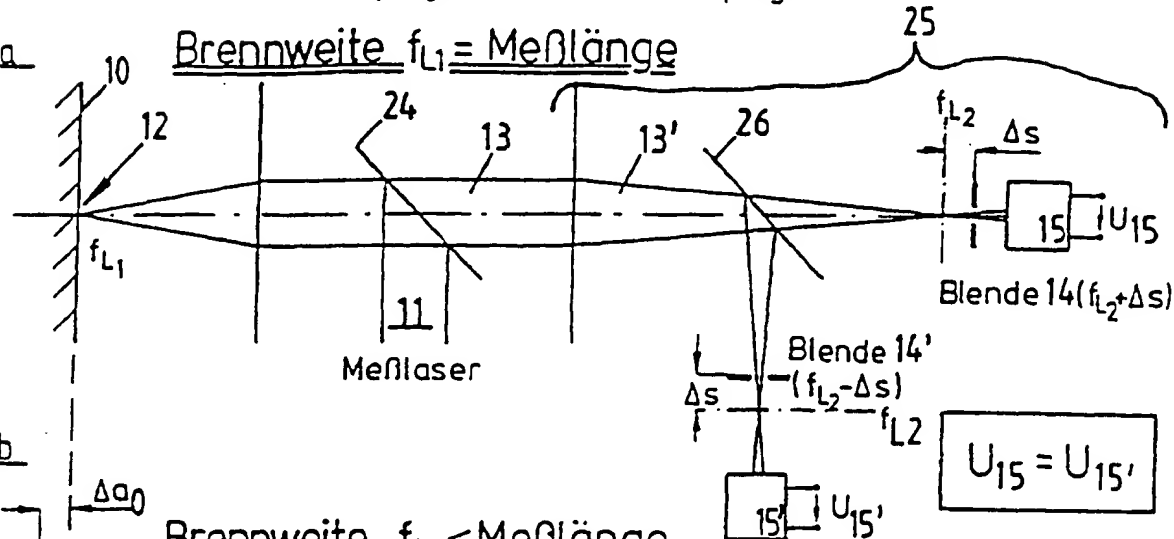


FIG. 3b

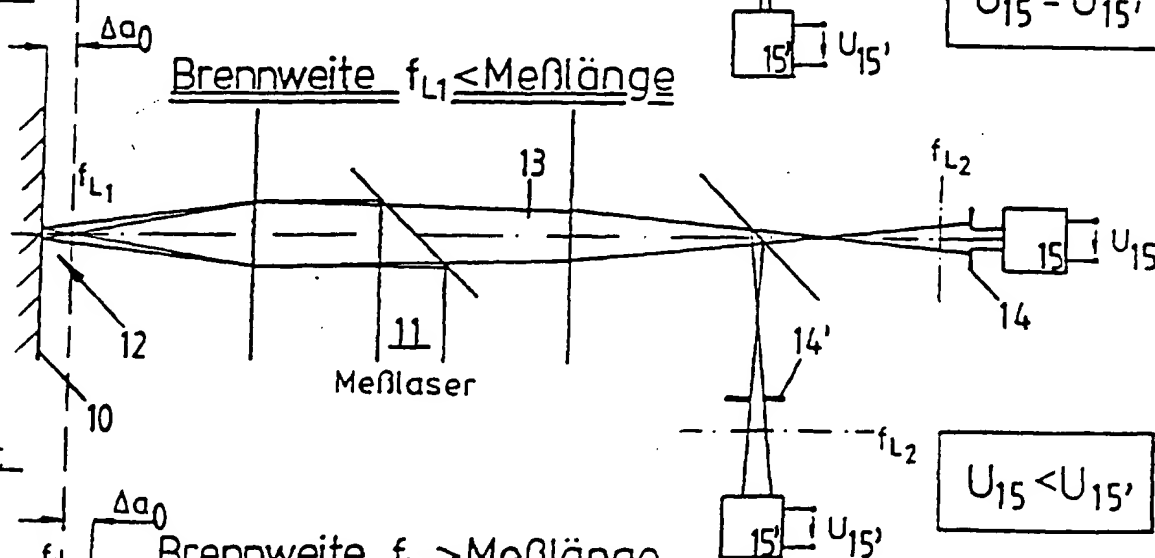
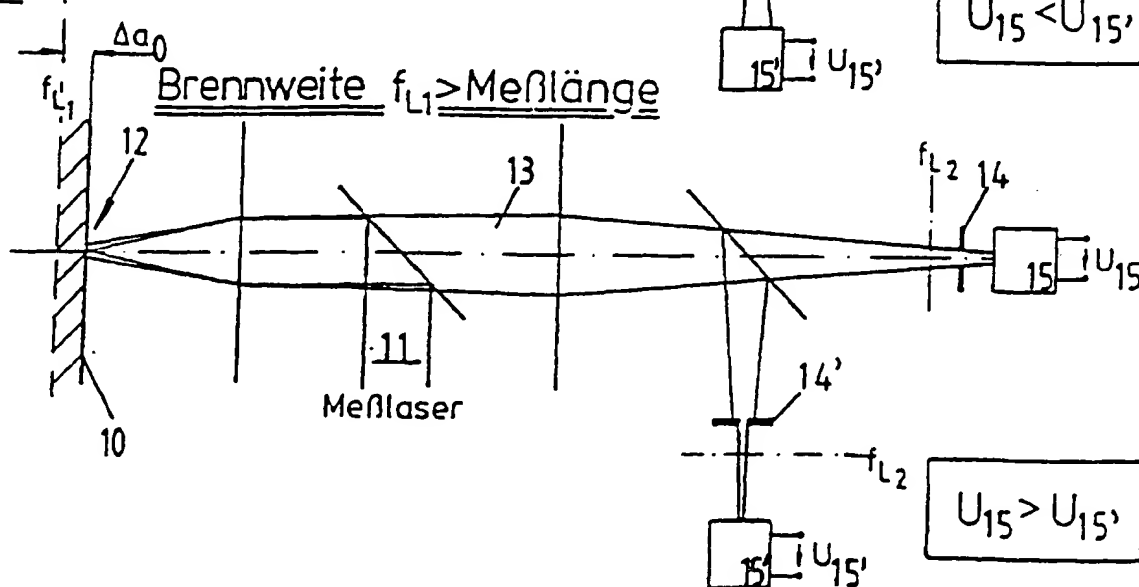


FIG. 3c



Laserpulse Bearbeitungslaser

Messlaser

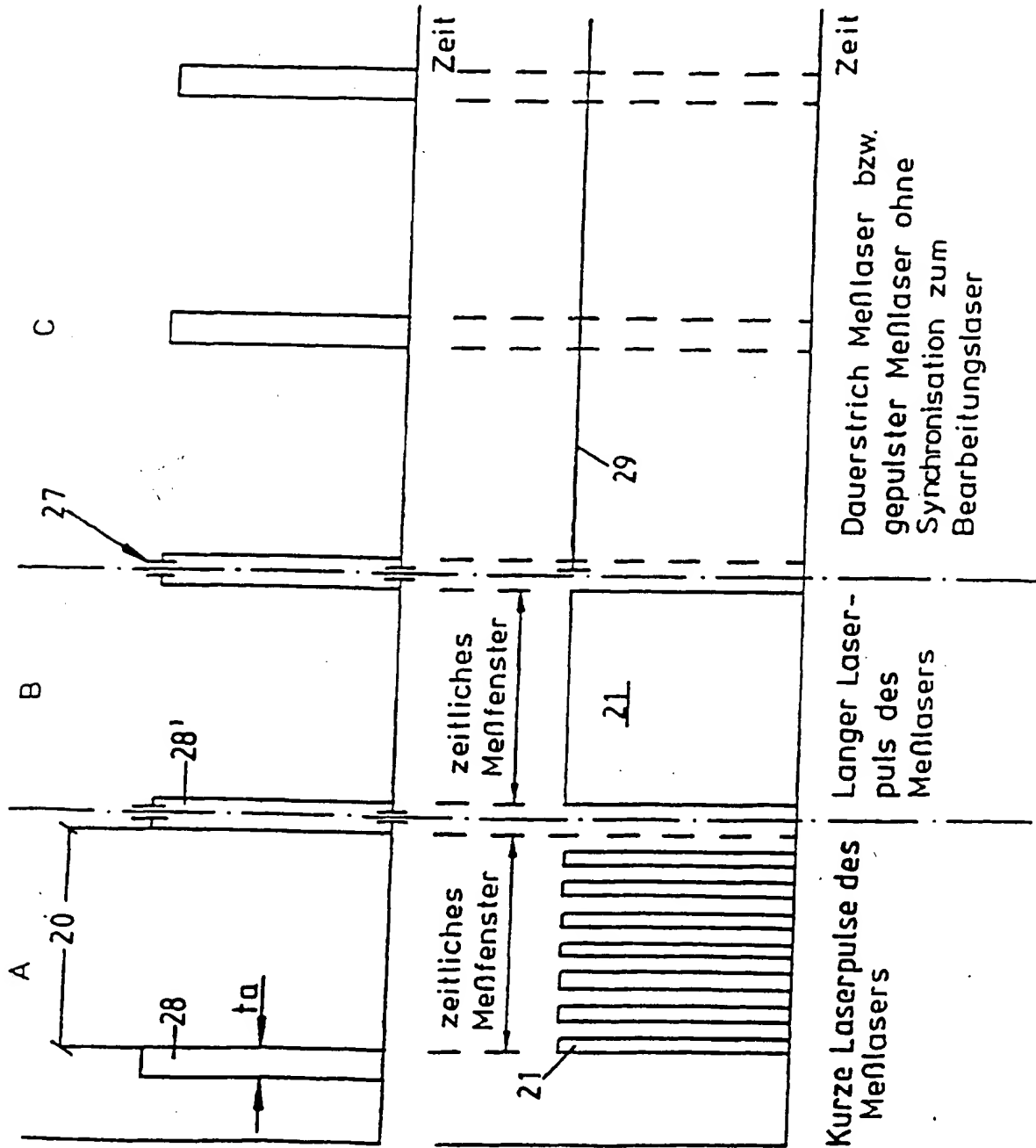


FIG. 4

Synchronisation zwischen
Bearbeitungslaser und Messlaser

Sensor 15

25

Lochblende¹⁴ im Abstand der
Brennweite von der Meßlinse 2 f_{L2}

Hauptebene der Meßlinse 2

FIG. 5

13

Teildurchlässiger
Spiegel 24

11

schwingender
DivergenzwinkelHauptebene der
Fokussierlinse 1 h_1 f_{L1} h_2

schwingender Brennpunkt

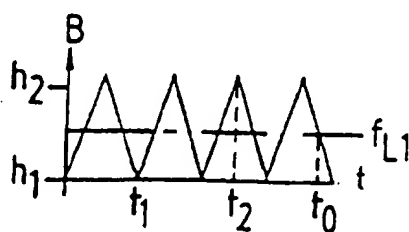
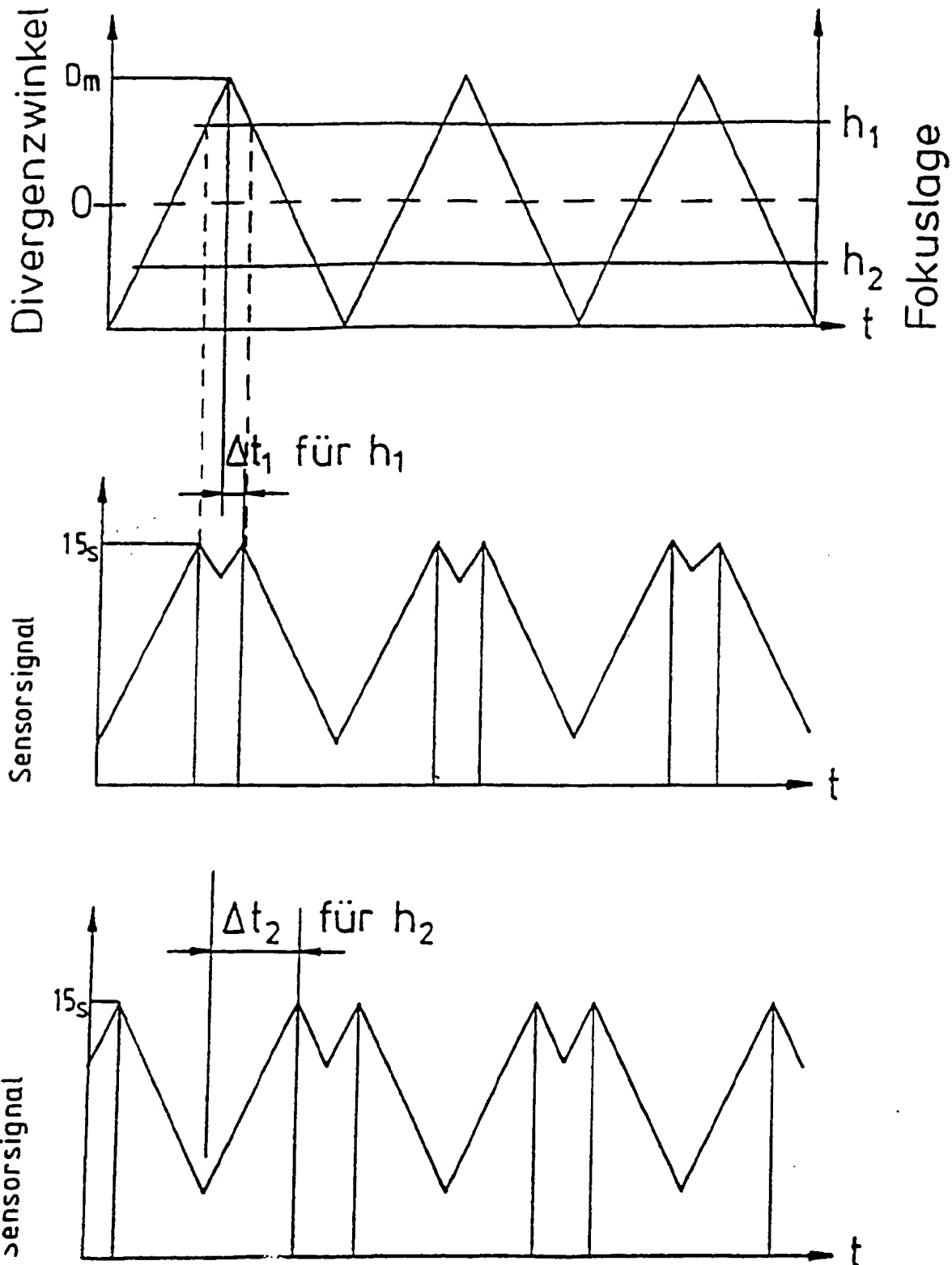
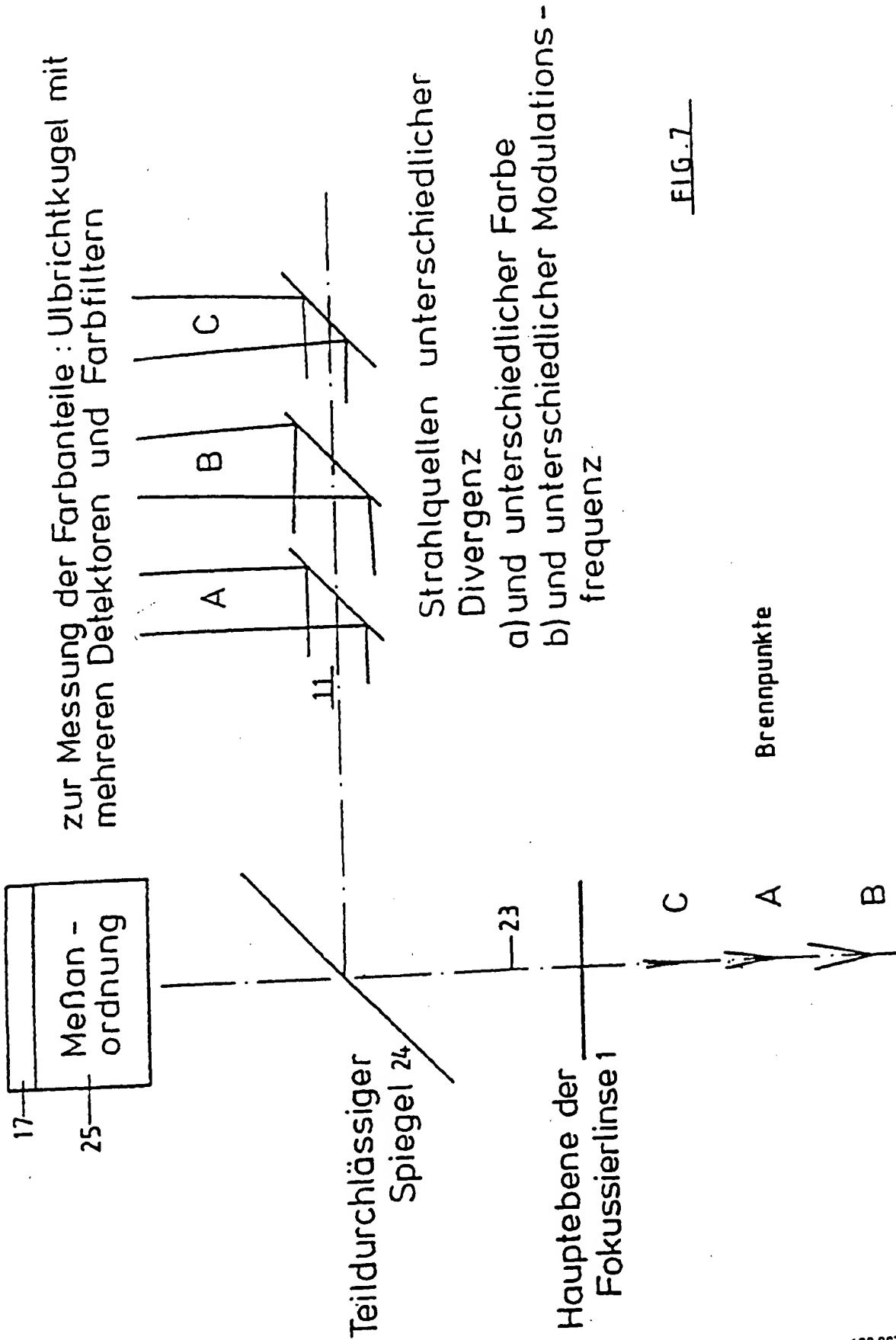
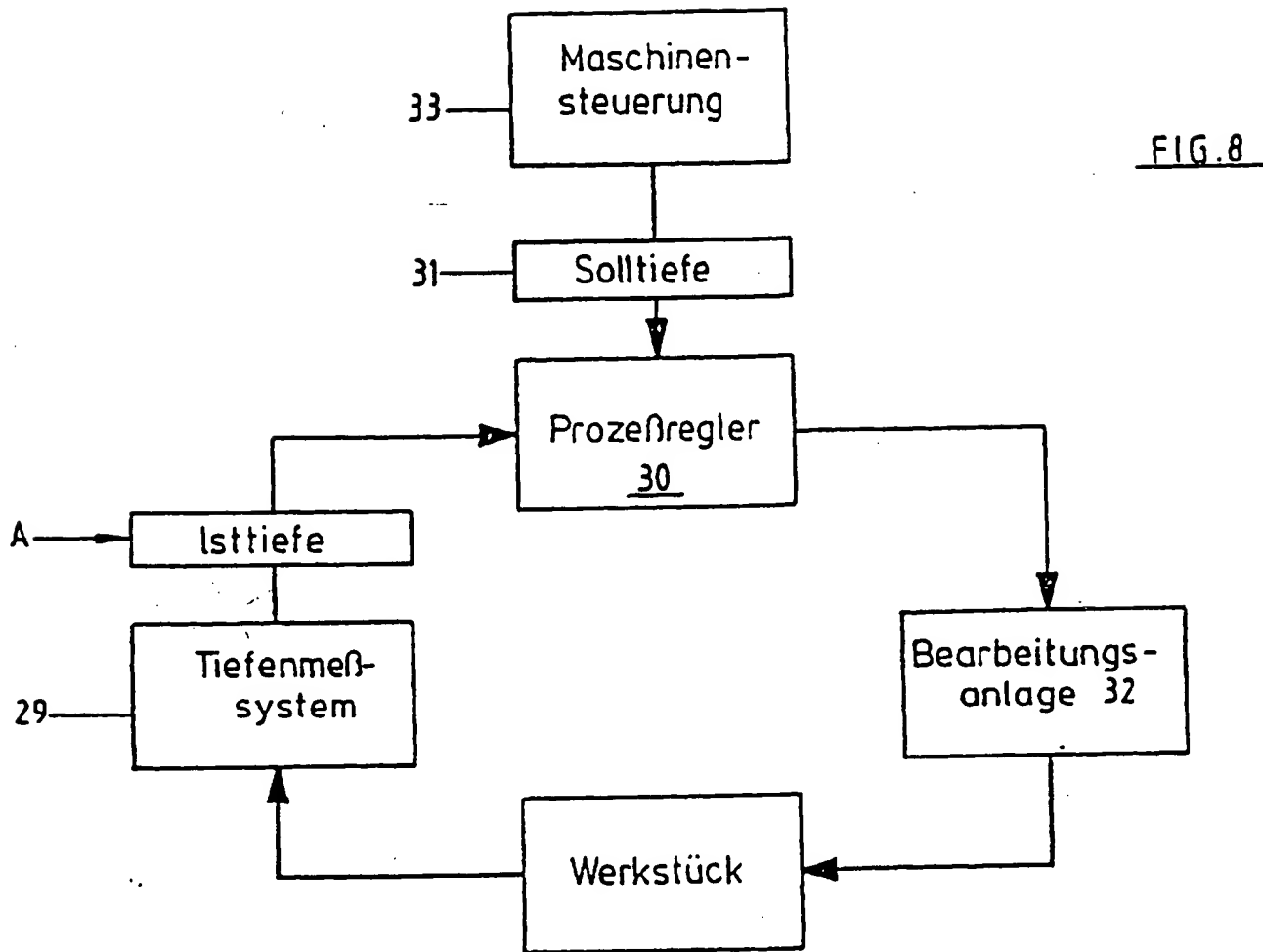


FIG. 6







Prinzip der Integration der Tiefenmessung
für das Abtragen mit Laserstrahlung